Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 2, Summer 2022, p. 415-427

Investigation of Morphological Diversity and Evaluation of Tomato Lines Yield Using Multivariate Statistical Analysis

S. GolCheshmeh[1], G. Kiani[2*], S.K. KazemiTabar[3], S. Navabpour[4]

Received: 09-05-2021
Revised: 24-10-2021
Accepted: 13-11-2021
Available Online: 21-08-2022

How to cite this article:
GolCheshmeh S., Kiani G., KazemiTabar S.K., and Navabpour S. 2022. Investigation of Morphological Diversity and Evaluation of Tomato Lines Yield Using Multivariate Statistical Analysis. Journal of Horticultural Science 36(2): 415-427. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JHS.2021.70173.1048

Introduction

Tomato is a product with a wide range of genotypes with different yields and selection based on this trait and its components can accelerate the breeding programs of this plant. The most important goals of tomato breeders have been to increase yield, disease resistance, early maturity, and improve the quality characteristics of the fruit. Therefore, awareness of genetic diversity in the population is an important step in plant breeding, and to achieve this goal, the studied genotypes must first be identified in terms of genetic potential and favorable agronomic traits. The usual approach for describing and evaluating populations requires cultivating sample populations and evaluating their morphological and agronomic characteristics. In this regard, multivariate statistical methods play an important role in studying genetic diversity and selecting appropriate parents. Unfortunately, the tomato cultivars used in Iran are often not at the favorable level in terms of important traits such as the number of days to fruit ripening, fruit weight, fruit yield, fruit length, and width, and few studies have been done on these traits. Therefore, this study was conducted to investigate the morphological diversity, evaluate the yield and its components among some imported tomato lines using analysis of variance, cluster analysis, and principal component analysis.

Materials and Methods

This study was performed in Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran in 2020. The plant material included 24 tomato lines imported from the Canadian Plant Gene Bank and one check variety. The experimental design used for morphological analysis was a randomized complete block design with three replications. Evaluated characteristics were included of the number of days to first flowering, number of days from germination to first fruit coloring (early ripening), plant height (cm), number of fruits per plant, average fruit weight per plant (g), plant yield (g), length and width of the fruit (cm). After measuring the characteristics at the farm and recording the data, analysis of variance was performed to examine the diversity between lines in terms of the studied variables, and Duncan test was used to compare the means and SAS software was used to test the correlation coefficients of the variables. Cluster analysis for grouping of tomato lines was performed based on the mean of the main data of standardized traits, which was determined by Euclidean distance to determine the distance between the lines, and the UPGMA method was used to merge the clusters. Principal component analysis was performed based on the mean of the main data of morphological traits.

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Associate Professors, Department of Plant Breeding, Faculty of Crops Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: gh.kiani@sanru.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that there was a significant difference between all lines in terms of the studied characters. Also, principal component analysis based on morphological traits showed that the first two main components accounted for 75% of the total phenotypic variation in the data and the number of days from germination to first fruit coloring (-0.606), the number of days to first flowering (-0.516), fruit weight per plant (0.492), fruit width (0.480), fruit length (0.472), plant height (-0.445), fruit yield per plant (0.395) and the number of fruits per plant (-0.367) had the highest contribution in yield changes. Therefore, these variables might be taken into consideration for effective selection of parents for hybridization programs for broadening the genetic base in the population as well as to develop elite lines or F1 hybrids. UPGMA cluster analysis also divided the studied lines into nine groups. Group IX lines were in good condition in terms of yield traits and components, group VIII lines in terms of maturity and flowering, and group IV lines in terms of fruit number per plant. And the lines in groups I and V were in moderate condition for all traits. According to these results, the cross of the lines in the more distant groups can produce hybrids with high diversity and maximum heterosis.

Conclusion

According to the main purpose of this study, which was to evaluate the yield and its components and according to the analysis performed, lines 8, 11, and 17 due to showing the least number of days to flowering and early, lines 10 and 14 due to having the highest yield, the highest fruit weight, and highest fruit length and width and lines 2, 9, 15, 21, and 24 due to having the highest number of fruits per plant and the favorable height are also recommended for use in tomato breeding programs.

Keywords: Cluster analysis, Correlation, Genetic diversity, Principal components analysis

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۴۲۷-۴۱۵

بررسی تنوع مورفولوژیکی و ارزیابی عملکرد لاین‌های گوجه‌فرنگی با استفاده از تجزیه آماری چند متغیره

ساسان گل‌چشمه[1]- غفار کیانی[2]*- سید کمال کاظمی‌تبار[3]- سعید نواب‌پور[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲

چکیده

گوجه‌فرنگی محصولی با طیف وسیعی از ژنوتیپ‌ها با عملکردهای متفاوت است و گزینش بر اساس صفت عملکرد و اجزای آن می‌تواند به برنامه‌های اصلاحی این گیاه سرعت ببخشد. در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای آن روی ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. صفات شامل تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه (زودرسی)، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد میوه در بوته، وزن میوه در بوته (گرم)، عملکرد میوه در بوته (گرم)، طول و عرض میوه (سانتی‌متر) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد در میان تمامی لاین‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مورد بررسی وجود دارد. همچنین تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز بر اساس صفات مورفولوژیک نشان داد که دو مولفه اصلی اول، در مجموع ۷۵ درصد از تنوع فنوتیپی کل در بین داده‌ها را توجیه کردند و صفات تعداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه (۰/۶۰۶-)، تعداد روز تاگلدهی (۰/۵۱۶-)، وزن میوه در بوته (۰/۴۹۲)، عرض میوه (۰/۴۸۰)، طول میوه (۰/۴۷۲)، ارتفاع بوته (۰/۴۴۵-)، عملکرد میوه در بوته (۰/۳۹۵) و تعداد میوه در بوته (۰/۳۶۷-) بیش‌ترین سهم را در تغییرات عملکرد داشتند. همچنین تجزیه خوشه‌ای به‌روش UPGMA نیز لاین‌های مورد مطالعه را در نه گروه قرار داد و لاین‌های گروه IX از نظر صفات عملکرد و اجزای آن، لاین‌های گروه VIII از نظر زودرسی و گلدهی و لاین‌های گروه IV از نظر تعداد میوه در بوته در وضعیت مطلوبی قرار داشتند و لاین‌های موجود در گروه‌های I و V نیز برای تمامی صفات در وضعیت متوسطی بودند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مولفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تنوع ژنتیکی، همبستگی

مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Solanum lycopersicom* L. از خانواده *Solanaceae* و با تعداد کروموزوم ۲n=۲X=۲۴ به‌عنوان دومین محصول مهم صیفی در جهان بعد از سیب‌زمینی طبقه‌بندی می‌شود و بخش اساسی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد (Engels *et al*., 1995; Athinodorou *et al*., 2021). گوجه‌فرنگی یک محصول غنی از ریزمغذی‌های مورد نیاز در رژیم غذایی انسان است (Osei *et al*., 2014). امروزه گیاهان صیفی مانند گوجه‌فرنگی، مهم‌ترین منبع درآمد برای کشاورزان خرده‌پا محسوب می‌شوند و از طرفی افزایش جمعیت انگیزه بالایی برای کشت صیفی‌جات به‌عنوان منبع مهم ویتامین‌ها و مواد مدنی ایجاد کرده است. در این زمینه تولید بذر با کیفیت یک عامل حیاتی است. به این منظور، مطالعات سیستماتیک و توصیف خصوصیات ژرم‌پلاسم گوجه‌فرنگی برای کشاورزان و متخصصان علم اصلاح نباتات از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (Alves *et al*., 2020). در دو دهه گذشته مطالعات مختلفی در زمینه اصلاح ژنوتیپ‌های گوجه‌فرنگی انجام شده است (Hannan *et al*., 2007; Mirshamsi-Kakhki *et al*., 2008; Sekhar *et al*., 2010; Mohsenifard *et al*., 2011; Hassan *et al*., 2021) و مهمترین اهداف اصلاح‌گران گوجه‌فرنگی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی و دانشیاران، گروه اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gh.kiani@sanru.ac.ir)
۴- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
DOI: 10.22067/JHS.2021.70173.1048

افزایش عملکرد، مقاومت در برابر بیماری‌ها، زودرسی و بهبود ویژگی‌های کیفی میوه بوده است (Foolad, 2007). در این راستا آگاهی از تنوع ژنتیکی موجود در جمعیت پیش شرط اصلی و گامی مهم در اصلاح گیاهان و طبقه‌بندی آن‌ها می‌باشد (Weising et al., 1995; Zhou et al., 2015). به همین دلیل به‌منظور تولید ارقام جدید و بذور هیبرید ابتدا لازم است ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر پتانسیل‌های ژنتیکی و صفات مطلوب زراعی شناسایی شوند (Kia-Mohammadi et al., 2012) و سپس بر اساس همین صفات مطلوب گزینش صورت گیرد. علاوه بر این برای درک پیشینه ژنتیکی و ارزش اصلاحی گیاهان گوجه‌فرنگی موجود، برنامه‌های ارزیابی تنوع ژنتیکی بسیار مهم هستند. در این زمینه ریک و هول (Rick and Holle, 1990) و کائمر و همکاران (Kaemmer et al., 1995) بر پارامترهای مورفولوژیکی، زراعی و بیوشیمیایی که به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی محصولات مختلف استفاده شده است تاکید می‌کنند.

برای شناسایی و تخمین تنوع ژنتیکی گیاهان، می‌توان از روش‌های مختلفی از جمله نشانگرهای مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی استفاده کرد. توصیف و طبقه‌بندی مورفولوژیکی یک رویکرد سنتی برای تعیین مقدار تفاوت‌های ژنتیکی است و اغلب برای تجزیه‌وتحلیل تنوع ژنتیکی استفاده می‌شود (Khadivi-Khub et al., 2008; Terzopoulos and Bebeli, 2008; Nikoumanesh et al., 2011). به همین دلیل صفات مورفولوژیکی ابزار مهمی برای تمایز ژنوتیپ‌ها هستند و به کمک نشانگرهای ژنتیکی، روند گزینش در اصلاح نباتات را تسهیل می‌کنند. رویکرد معمول برای توصیف و ارزیابی جمعیت‌ها، مستلزم کشت جمعیت‌های نمونه و ارزیابی خصوصیات مورفولوژیکی و زراعی آنهاست (Perez-de-la-Vega, 1993). در این زمینه آماره‌های چند متغیره از جمله تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، نقش مهمی در بررسی تنوع ژنتیکی و انتخاب والدین مناسب دارند. تجزیه خوشه‌ای در تلاقی‌ها برای شناسایی والدینی که با یکدیگر نسبت خویشاوندی دوری دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد (Moghaddam et al., 1994). همچنین زمانی که تعداد زیادی صفت مورد مطالعه قرار می‌گیرد، مشکلاتی عملی به‌دلیل تعداد روابط بیش از حد به‌وجود می‌آید، لذا نیاز به استفاده از روش‌هایی است که حجم داده‌ها را کاهش دهد. معروف‌ترین آماره‌ای که در این زمینه استفاده می‌شود، تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) به‌منظور کاهش تعداد متغیرها با هدف حفظ اطلاعات موجود در متغیرها است. یعنی مجموعه متغیرهای اصلی را به یک مجموعه کوچکتری تبدیل کرد، به‌نحوی که این مجموعه کوچک بیش‌تر تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه می‌کند (Cox et al., 2003; Jiang and Telen, 2004). تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه‌های اصلی توسط محققان مختلف در توصیف خصوصیات ژنتیکی لاین‌های گوجه‌فرنگی برای عملکرد و صفات کیفی به‌کار گرفته شده است. در این زمینه مطالعاتی توسط آگونگ و همکاران (Agong et al., 2001)، آل‌آیش و همکاران (Al-Aysh et al., 2012)، اوسی و همکاران (Osei et al., 2014) و تمبه و همکاران (Tembe et al., 2018) انجام شده است. غالب مطالعات مذکور بر روی صفات مهمی نظیر تعداد خوشه‌ها، تعداد روز تا رسیدن میوه، وزن میوه، عملکرد میوه، طول و عرض میوه بوده و بهره‌برداری از چنین صفاتی، یافته‌های تحقیقی و دانش اصلاحگر را در زمینه تنوع ژنتیکی افزایش می‌دهد. متاسفانه ارقام گوجه‌فرنگی مورد استفاده در ایران اغلب از نظر صفات نامبرده در سطح مطلوبی قرار ندارند و همچنین مطالعات کمی بر روی آن‌ها صورت گرفته است. لذا این مطالعه به‌منظور بررسی تنوع مورفولوژیکی، ارزیابی عملکرد و اجزای آن در میان تعدادی از لاین‌های گوجه‌فرنگی وارداتی با استفاده از تجزیه واریانس، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام شده است تا مقدمات گزینش لاین‌های برتر و بهره‌مندی از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی و دورگ‌گیری گوجه‌فرنگی در آینده فراهم شود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری (با موقعیت طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا)، استان مازندران، ایران در سال تحصیلی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. بر طبق آمار ایستگاه هواشناسی حداکثر دما ۱۸ درجه سلسیوس، حداقل دما ۸ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت ۹۸ درصد، میانگین بارندگی سالیانه ۷۸۹/۲ میلی‌متر و رژیم آب‌وهوایی منطقه نیمه مرطوب می‌باشد. مواد گیاهی مورد استفاده در این پژوهش شامل ۲۴ لاین گوجه‌فرنگی وارداتی از بانک ژن گیاهی کانادا و یک رقم شاهد بود. مشخصات لاین‌های گوجه‌فرنگی مورد استفاده در جدول ۱ ذکر شده است.

معیار انتخاب این لاین‌ها وجود تنوع از نظر صفاتی مانند عملکرد و اجزای عملکرد در بین آن‌ها بود. بررسی مورفولوژیکی در بین لاین‌های مورد استفاده با هدف بررسی تنوع برای صفات مختلف زراعی از جمله صفات ظاهری میوه و بوته انجام شد. به‌همین منظور بذور لاین‌های مورد مطالعه در گلدان‌های پلاستیکی کشت شدند و تا رسیدن به مرحله دو الی سه برگی، گلدان‌ها در شرایط کنترل شده گلخانه قرار گرفتند. سپس بعد از این مرحله نشاها به زمین اصلی منتقل شدند. در زمین اصلی طرح آزمایشی مورد استفاده برای بررسی مورفولوژیکی لاین‌ها، طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود.

جدول ۱- مشخصات لاین‌های گوجه‌فرنگی مورد بررسی در مطالعه

Table 1- Characteristics of tomato lines investigated in the study

شماره Number	نام لاین Line name	کد بانک ژن Gene Bank Code	منشاء Origin
1	Trophy	CN 16474	Canada
2	Bibor	CN 16407	Canada
3	Century	CN 16414	Canada
4	Clarks special early	CN 16416	Canada
5	Earlianna special	CN 16423	Canada
6	Stoners M.P.	CN 16471	Canada
7	Devons surprise	CN 16420	Canada
8	Earliest of all	CN 16424	Canada
9	Fanal	CN 16430	Canada
10	Harlekyn	CN 16444	Canada
11	Stoners exhibition	CN 16470	Canada
12	Heropert	CN 16446	Canada
13	Horney	CN 16449	Canada
14	Marhio red	CN 16460	Canada
15	Plovdiv	CN 16464	Canada
16	Best of all	CN 16405	Canada
17	President roosevelt	CN 16465	Canada
18	Pecz gyongye	CN 17689	Canada
19	Abundance	CN 16396	Canada
20	All clear	CN 16398	Canada
21	Vahle leader	CN 16477	Canada
22	Bermes erntesegen	CN 17652	Canada
23	Det. Cerasi for me	CN 17658	Canada
24	Oahu	CN 17683	Canada
25	SP	-	-

در هر کرت چهار ردیف کاشت با طول چهار متر و با فاصله ردیف یک متری از یکدیگر قرار گرفت و فاصله بین بوته‌ها بر روی ردیف‌ها پس از انتقال نشاها از گلخانه بـه زمـین اصـلی، ۵۰ سـانتی‌متـر بـود. عملیات آماده‌سازی مزرعه جهت کاشت شامل شخم زمین، دیسـک و کولتیواتور و همچنین کوددهی و سم‌پاشـی مطـابق بـا عـرف منطقـه انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل تعداد روز تا اولین گلدهی، تعـداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه (زودرسی)، ارتفـاع بوتـه بـر حسب سانتی‌متر، تعداد میوه در هر بوته، متوسط وزن میوه در بوته بـر حسب گرم، عملکرد بوته (وزن تمام میوه‌های بوته) بر حسـب گـرم و طول و عرض میوه بر حسب سانتی‌متر بـود و فرآینـد ثبـت داده‌هـای حاصل از اندازه‌گیری این صفات پس از حذف حاشیه و برداشت چهـار بوته به‌صورت تصادفی از دو ردیف میانی هر کرت انجام شد. پـس از اندازه‌گیری صفات مدنظر در مزرعه و ثبـت داده‌هـا تجزیـه واریـانس برای بررسی تنوع بین ارقام از نظر متغیرهای مـورد بررسـی انجـام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد و برای آزمون ضرایب همبستگی متغیرها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۰ استفاده شد.

همچنین تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مولفه‌های اصلی با اسـتفاده از نـرم افـزار NTSYS 2.02e انجـام شـد. تجزیـه خوشـه‌ای بـرای گروه‌بندی لاین‌های گوجه‌فرنگی بر اساس میانگین داده‌هـای اصـلی هشت صفت استاندارد شده انجام گرفت که برای تعیـین فاصـله بـین لاین‌ها از فاصله اقلیدسی و برای ادغام کلاسترها از روش UPGMA استفاده شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز بر اساس میانگین داده‌های اصلی همان تعداد صفات مورفولوژیک صورت گرفت. هر مولفه اصلی ترکیب خطی از متغیرهای مورد بررسی است که می‌توان رابطـه آن را به‌صورت زیر نمایش داد (Jolliffe, 1986).

فرمول (۱) $PC= a_{11}X_1+a_{12}X_2+\ldots+a_{ij}X_j$

که در این رابطه PC مولفه اصلی، a_{ij} ضریب یا بـردار ویـژه و X_j متغیر مورد نظر می‌باشد (Ovalles and Collins, 1988). در مطالعه حاضر جهت انتخاب تعداد مولفه‌های موثر، مولفه‌هایی انتخـاب شـدند که مقدار ویژه (Eigenvalue) آن‌ها از یک بیش‌تر باشد. از آنجایی‌که واحدهای متغیرهـای مـورد بررسـی همسـان نبودنـد بـرای محاسـبه مولفـه‌هـای اصلـی از مـاتریس همبسـتگی (Correlation matrix) استفاده شد. همچنین به‌منظور انتخاب و تفسـیر ویژگـی‌هـای مهـم و کنترل کننده بیش‌ترین تغییرات در هر مولفه، از معیـار انتخـاب (SC) استفاده شد (Ovalles and Collins, 1988; Cox *et al*., 2003).

فرمول (۲) $$SC=\frac{0.5}{(PC\ eigen\ value)^{0.5}}$$

در این معادله SC شـاخص انتخـاب و $PC_{Eigen\ value}$ ارزش ویـژه مولفه مربوطه می‌باشد. برای تعیین ترکیـب خطـی هـر مولفـه، تنهـا ویژگی‌هایی انتخاب می‌شود که قدر مطلق ضرایب آن‌ها از مقدار معیار انتخاب محاسبه شده برای آن مولفه بیش‌تر است.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که لاین‌ها از نظر صفات مورد بررسی دارای تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشند که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین لاین‌های مورد مطالعه است (جدول ۲). با توجه به این نتیجه صفات مورد بررسی می‌توانند در انتخاب ارقام مناسب و پر بازده برای کاشت مورد توجه قرار گیرند، زیرا تنوع بین لاین‌ها امکان بهبود صفات را فراهم می‌آورد و به‌طور محسوس میزان تنوع ژنتیکی در تعیین سودمندی انتخاب موثر می‌باشد (Abedini *et al*., 2016). ضریب تغییرات که معیاری از دقت آزمایش بوده و نشان دهنده این است که میزان پراکندگی چند درصد میانگین است (Rezaei and Mirmohammadi-Meybodi, 2014)، برای صفات مورد ارزیابی در محدوده مناسبی قرار داشت و کم‌ترین ضریب تغییرات با مقدار ۱/۰۹ مربوط به متغیر زودرسی بود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده در ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی

Table 2- ANOVA results for the morphological traits measured in 25 tomato lines

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares تعداد روز تا گلدهی Number of days until flowering	تعداد روز از جوانه‌زنی تا رنگ‌گیری میوه Number of days from germination to fruit coloring	ارتفاع بوته Plant height	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه در بوته Fruit weight per plant	عملکرد میوه در بوته Fruit yield per plant	طول میوه Fruit length	عرض میوه Fruit width
بلوک Block	2	1.28 n.s	8.49 n.s	2.10 n.s	2.60 n.s	2.57 n.s	3519.55 n.s	0.008 n.s	0.001 n.s
لاین Line	24	81.04**	50.04**	558.56**	105.77**	5916.42**	492358.98**	0.91**	2.30**
خطا Error	48	2.07	2.17	3.38	1.81	5.16	18309.61	0.01	0.04
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.55	1.09	1.62	8.97	3.63	17.76	2.91	4.36

n.s و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

n.s and **: non-significant and significant at $p \leq 0.01$, respectively

با توجه به اینکه آزمون F در همه صفات معنی‌دار بود، مقایسه میانگین لاین‌ها برای صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن انجام شد (جدول ۳). همچنین ضریب همبستگی بر اساس میانگین داده‌ها در تمامی لاین‌ها مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۴). ضرورت برآورد ضریب همبستگی در اصلاح نباتات به‌منظور انتخاب صفاتی است که به‌صورت غیرمستقیم بر عملکرد گیاه تاثیر دارند و یا برای حذف صفاتی می‌باشد که چندان بر عملکرد کلی گیاه موثر نیستند.

تعداد روزها تا گلدهی و تعداد روزها از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه

برداشت به‌موقع محصول یکی از عوامل موثر بر کیفیت میوه گوجه‌فرنگی است و می‌تواند میزان مواد مغذی و مدت زمان ماندگاری میوه در انبار را تعیین کند (Abebe *et al*., 2017). صفات تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه (زودرسی) ارتباط مستقیمی با زمان برداشت میوه دارند و هدف اصلاح‌گران گوجه‌فرنگی از بررسی صفات مذکور، در راستای کاهش آن‌ها می‌باشد. این عمل با هدف زودرس کردن میوه در بوته‌های گوجه‌فرنگی صورت می‌پذیرد (Khazaei and Zare-Feyzabadi, 2013) و ارقام زودرس از نظر تجاری نیز ارزش بالایی خواهند داشت. در پژوهش حاضر نتایج مقایسه میانگین برای لاین‌های مورد مطالعه نشان داد که برای صفات تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه به‌ترتیب لاین‌های ۱۷ و ۸ دارای کم‌ترین میانگین‌ها می‌باشند. لازم به ذکر است رقم ۱۷ از نظر زودرسی نیز با رقم ۸ در یک گروه آماری قرار دارد (جدول ۳) لذا رقم ۱۷ نیز جزو ارقام زودرس محسوب می‌شود.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته در گوجه فرنگی اصولاً صفتی ارثی بوده و با زودرسی و دیررسی گیاه ارتباط دارد و ژنوتیپ‌های دیررس نسبت به ژنوتیپ‌های زودرس ارتفاع بوته بیش‌تری دارند (Amini *et al*., 2013). در تایید این فرضیه طبق نتایج ضریب همبستگی مطالعه

حاضر (جدول ۴)، متغیر تعداد روز از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه با ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری را در سطح یک درصد داشت و این بدان معناست هرچه میوه زودرس‌تر باشد، ارتفاع بوته آن کم‌تر خواهد بود و یا بالعکس. نتایج مقایسه میانگین لاین‌ها از نظر ارتفاع بوته نیز موید آن است که لاین‌های دیررس معمولاً جزو گروه ارقام با ارتفاع بلند بوته می‌باشند (جدول ۳). همچنین ارتفاع بوته در گوجه‌فرنگی در رقابت با علف‌های هرز و بیماری‌های مختلف گیاهی نیز نقش مهمی بر عهده دارد. به‌عنوان مثال با ظهور علف‌های هرز در اطراف بوته‌های کوتاه قامت گوجه‌فرنگی به‌خصوص در روزهای ابتدایی گل‌دهی، امکان سایه‌اندازی آن‌ها بر روی بوته‌های گوجه‌فرنگی وجود دارد و می‌تواند باعث ایجاد رقابت در جذب نور خورشید و مواد مغذی موجود در خاک شده و در نهایت باعث کاهش عملکرد در گیاه شود (Ponce *et al*., 1996). از طرفی یک ارتفاع مطلوب در بوته‌های بالغ گوجه‌فرنگی از تماس میوه‌ها با سطح خاک جلوگیری کرده و امکان ظهور برخی بیماری‌ها را در میوه کاهش می‌دهد و از این طریق می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود. به این نکته در مطالعه قربانپور و همکاران (Ghorbanpour *et al*., 2018) اشاره شده است. در مطالعه حاضر ارقام ۱۹ و ۱۲ به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین‌ها از نظر ارتفاع بوته بودند و بقیه لاین‌ها ارتفاع بوته متوسطی داشتند (جدول ۳).

وزن میوه و عملکرد میوه در بوته

پتانسیل عملکرد بالا یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های اصلاحی گوجه‌فرنگی می‌باشد، به‌طوری که رقم اصلاح شده جدید اگر عملکرد آن در حد عملکرد ارقام رایج و یا بیش‌تر از آن‌ها نباشد، حتی با وجود داشتن خصوصیات کیفی مناسب نمی‌تواند جانشین رقم رایج گردد (Berry and Uddin, 1988). این در حالی است که تولید گوجه‌فرنگی در ایران علی‌رغم بهبود نسبی در سال‌های اخیر هنوز از عملکرد در واحد سطح مطلوبی برخوردار نیست و دلیل آن این است که عملکرد کمی و کیفی میوه گوجه‌فرنگی تحت شرایط مختلف متغیر است (Khazaei and Zare-Feyzabadi, 2013). وزن میوه در بوته هم یکی از اجزای اصلی عملکرد در بوته می‌باشد (Henareh *et al*., 2015; Mata-Nicolás *et al*., 2020) که در مطالعه حاضر همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با صفت عملکرد داشت (جدول ۴). همچنین نتایج مقایسه میانگین برای لاین‌های مورد مطالعه نشان داد لاین‌های ۱۰ و ۱۴ دارای بیش‌ترین عملکرد و وزن میوه بر حسب گرم بودند و لاین‌های ۱۵، ۱۸ و ۹ نیز دارای کم‌ترین عملکرد و وزن میوه بر حسب گرم می‌باشند (جدول ۳).

تعداد میوه در بوته

تعداد میوه در بوته نیز یکی از اجزای اصلی عملکرد است و می‌تواند از اصلی‌ترین صفات تعیین کننده پتانسیل عملکرد در گوجه‌فرنگی باشد (Henareh *et al*., 2015). اما با توجه به نتایج ضریب همبستگی مطالعه حاضر (جدول ۴)، با افزایش تعداد میوه در بوته وزن میوه کم‌تر شده است. به همین دلیل لاین‌های ۲، ۹، ۱۵، ۲۱ و ۲۴ علی‌رغم اینکه بیش‌ترین تعداد میوه در بوته را نسبت به سایر ارقام دارا بودند، اما با توجه به وزن کم‌تر میوه در این ارقام عملکرد کم‌تری نیز نسبت به بقیه لاین‌ها داشته‌اند. نتایج مشابهی توسط هناره و همکاران (Henareh *et al*., 2015)، آگونگ و همکاران (Agong *et al*., 2001) و سلیمان و همکاران (Solieman *et al*., 2013) گزارش شده است.

طول و عرض میوه

شکل و اندازه میوه نه تنها برای مصرف کننده بلکه برای حمل‌ونقل نیز بسیار مهم است. همچنین یکی از صفات مورفولوژیکی رایج که بسیاری از واریته‌های زراعی را از گونه‌های غیر زراعی آن تشخیص می‌دهد شکل میوه در گوجه‌فرنگی است (Salim *et al*., 2020). در پژوهش حاضر نیز تنوع گسترده‌ای از نظر شکل (طول و عرض) میوه در میان لاین‌های مورد مطالعه مشاهده شد (جدول ۲) و لاین ۱۰ بیش‌ترین طول میوه و لاین ۱۴ بیش‌ترین عرض میوه را دارا بود (جدول ۳). نتایج مشابهی توسط امینی و همکاران (Amini *et al*., 2013) گزارش شده است. نتایج ضریب همبستگی پژوهش حاضر نیز حاکی از وجود یک همبستگی مثبت و معنی‌دار میان طول و عرض میوه با عملکرد و وزن میوه در بوته است، در حالی‌که طول و عرض میوه با تعداد میوه در بوته همبستگی منفی و معنی‌داری را دارد (جدول ۴) که مشابه با تحقیقات ردی و همکاران (Reddy *et al*., 2013) بود.

تجزیه به مولفه‌های اصلی

هدف تجزیه به مولفه‌های اصلی کاهش تعداد متغیرهای اولیه و ایجاد متغیرهای جدیدی است که مولفه اصلی (PC) نامیده می‌شود. با استفاده از این روش محققان می‌توانند آن دسته از صفات را شناسایی کنند که بیش‌ترین تنوع را درون گروهی از ژنوتیپ‌ها داشته و از اهمیت بالایی در انتخاب لاین‌های والدینی برای اهداف اصلاحی برخوردارند (Ahmadizadeh and Felenji, 2011; Kumar *et al*., 2017).

جدول ۳- صفات مورفولوژیک لاین‌های مورد مطالعه

Table 3- The morphological traits of studied lines

صفت Trait / لاین Line	تعداد روز تا گلدهی Number of days until flowering	تعداد روز از جوانه‌زنی تا رنگ‌گیری‌میوه Number of days from germination to fruit coloring	ارتفاع بوته Plant height	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه در بوته Fruit weight per plant	عملکرد میوه در بوته Fruit yield per plant	طول میوه Fruit length	عرض میوه Fruit width
1	92.38^{ef}	136.50^{bcd}	120.75^{cd}	19.50^{cd}	52.89^{h}	1031.3^{bc}	4.29^{cd}	5.67^{bc}
2	91/19^{f}	132.07^{efg}	110.25^{efg}	23.00^{ab}	23.85^{m}	549.6^{efg}	3.66^{efg}	4.23^{def}
3	100.00^{b}	134.44^{cde}	110.83^{ef}	5.58^{l}	96.90^{e}	540.7^{efg}	4.47^{c}	5.44^{c}
4	98.50^{bc}	136.12^{cd}	121.62^{cd}	8.41^{ijkl}	132.65^{c}	1116.0^{b}	4.82^{a}	6.10^{ab}
5	96.33^{cd}	138.00^{bc}	113.08^{e}	14.50^{ef}	30.84^{jkl}	448.2^{fg}	3.62^{efgh}	4.55^{d}
6	92.87^{def}	130.50^{fgh}	91.66^{i}	21.33^{bc}	30.30^{jkl}	647.2^{defg}	3.32^{ij}	4.17^{def}
7	92.87^{def}	136.00^{cd}	121.50^{cd}	20.08^{bcd}	35.31^{j}	711.1^{cdef}	3.79^{e}	4.62^{d}
8	85.83^{hi}	126.25^{i}	108.25^{fg}	12.12^{fg}	95.57^{e}	1159.8^{b}	4.08^{d}	5.77^{bc}
9	97.12^{bc}	135.75^{cd}	118.12^{d}	24.91^{a}	13.69^{n}	341.2^{g}	3.46^{ghi}	3.48^{g}
10	87.50^{gh}	130.37^{fgh}	109.25^{efg}	10.75^{ghij}	183.83^{a}	1982.5^{a}	4.96^{a}	6.14^{ab}
11	87.25^{gh}	128.58^{ghi}	106.12^{g}	17.50^{de}	31.66^{jk}	554.0^{efg}	3.43^{ghi}	4.26^{def}
12	89.62^{fg}	135.75^{cd}	86.62^{j}	10.16^{ghij}	62.94^{g}	640.9^{defg}	4.10^{d}	4.64^{d}
13	92.87^{def}	138.00^{bc}	123.53^{c}	8.75^{hijkl}	103.37^{d}	913.1^{bcd}	4.75^{ab}	6.01^{ab}
14	92.33^{ef}	131.75^{efg}	91.75^{i}	12.83^{fg}	140.62^{b}	1804.2^{a}	4.50^{bc}	6.51^{a}
15	92.75^{ef}	131.33^{efg}	91.25^{i}	22.83^{ab}	15.31^{n}	349.6^{g}	3.24^{ij}	3.81^{fg}
16	105.11^{a}	143.16^{a}	130.50^{b}	7.00^{kl}	95.71^{e}	670.0^{defg}	4.90^{a}	5.64^{bc}
17	83.41^{i}	127.50^{hi}	118.00^{d}	11.83^{fgh}	71.97^{f}	853.0^{bcde}	3.65^{efgh}	5.34^{c}
18	97.08^{bc}	135.87^{cd}	117.12^{d}	11.16^{fghij}	31.12^{jkl}	347.9^{g}	3.07^{j}	3.51^{g}
19	85.25^{hi}	137.62^{bc}	138.91^{a}	14.50^{ef}	43.84^{i}	637.5^{defg}	3.79^{e}	4.47^{de}
20	87.08^{gh}	133.33^{def}	109.83^{efg}	20.41^{bcd}	27.87^{klm}	573.0^{defg}	4.15^{d}	4.63^{d}
21	90.25^{fg}	130.75^{fgh}	99.12^{h}	22.50^{abc}	26.14^{lm}	590.7^{defg}	3.37^{hi}	4.16^{def}
22	98.25^{bc}	137.37^{bc}	119.91^{cd}	12.83^{fg}	46.94^{i}	601.6^{defg}	3.76^{e}	4.36^{de}
23	93.25^{def}	138.16^{bc}	138.00^{a}	11.50^{fghi}	42.31^{i}	487.7^{fg}	3.48^{fghi}	3.97^{efg}
24	95.16^{cde}	134.50^{cde}	117.91^{d}	22.91^{ab}	31.75^{jk}	733.4^{cdef}	3.74^{ef}	4.29^{def}
25	97.58^{bc}	140.12^{ab}	119.00^{d}	7.91^{jkl}	95.24^{e}	752.5^{cdef}	4.13^{d}	5.38^{c}

جدول ۴- ضرایب همبستگی ۲۵ رقم گوجه‌فرنگی

Table 4- Correlation coefficients of 25 tomato cultivars

	تعداد روز تا گلدهی Number of days until flowering	تعداد روز از جوانه‌زنی تا رنگ‌گیری‌میوه Number of days from germination to fruit coloring	ارتفاع بوته Plant height	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	وزن میوه در بوته Fruit weight per plant	عملکرد میوه در بوته Fruit yield per plant	طول میوه Fruit length	عرض میوه Fruit width
تعداد روز تا گلدهی Number of days until flowering	1							
تعداد روز از جوانه‌زنی تا رنگ‌گیری میوه Number of days from germination to fruit coloring	0.671**	1						
ارتفاع بوته Plant height	0.217$^{n.s}$	0.551**	1					
تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	-0.246*	-0.300**	-0.266$^{n.s}$	1				
وزن میوه در بوته Fruit weight per plant	0.046$^{n.s}$	-0.008$^{n.s}$	0.014$^{n.s}$	-0.683**	1			
عملکرد میوه در بوته Fruit yield per plant	-0.235*	-0.244*	-0.135$^{n.s}$	-0.246*	0.826**	1		
طول میوه Fruit length	0.187$^{n.s}$	0.255*	0.154$^{n.s}$	-0.579**	0.833**	0.631**	1	
عرض میوه Fruit width	-0.006$^{n.s}$	0.003$^{n.s}$	0.035$^{n.s}$	-0.577**	0.872**	0.758**	0.885**	1

در مطالعه حاضر تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس هشت صفت در لاین‌های گوجه‌فرنگی انجام شد. با در نظر گرفتن ارزش ویژه بالای یک، دو مولفه اصلی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۵). مقدار ویژه بزرگتر از یک در یک مولفه نشان دهنده آن است که آن مولفه، واریانس بیش‌تری را نسبت به یک متغیر انفرادی برآورد می‌کند، لذا با توجه به جدول ۵ دو مولفه اصلی اول که ارزش ویژه آن‌ها بالاتر از یک می‌باشد، جمعاً ۷۵ درصد از تنوع فنوتیپی کل در بین داده‌ها را توجیه کرده‌اند. مولفه‌های اصلی بر اساس کاهش واریانس مرتب می‌شوند (Feyissa and Bessie, 2019) و بر این اساس مهم‌ترین مولفه اصلی، مولفه اول است که بیش‌ترین واریانس را دارد و مولفه آخر اهمیت کم‌تری دارد. مولفه‌های اول و دوم به‌ترتیب ۴۷ و ۲۸ درصد از تنوع کل را تبیین نمودند (جدول ۵). همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، جهت تفسیر ویژگی‌های موثر در یک مولفه از شاخص معیار انتخاب یا SC استفاده شد که طبق جدول ۵ از مولفه اول به سمت مولفه آخر مقدار معیار انتخاب (SC) افزایش می‌یابد. این مقادیر برای انتخاب متغیرهای مهم برای تفسیر هر مولفه استفاده می‌شود. در هر مولفه فقط آن دسته از متغیرهایی که میزان قدر مطلق مقادیر بردار ویژه (Eigen value) آن‌ها از معیار انتخاب محاسبه شده برای آن مولفه بزرگتر باشند، در تفسیر آن مولفه در نظر گرفته می‌شوند (Ovalles and Collins, 1988) و بدین سان در مطالعه حاضر معیار انتخاب محاسبه شده برای مولفه‌های اول و دوم به‌ترتیب ۰/۲۵۵ و ۰/۳۳۴ می‌باشند (جدول ۵) و بر این اساس مولفه اول توسط صفات وزن میوه در بوته، عملکرد میوه در بوته، طول و عرض میوه با بزرگ‌ترین ضرایب عاملی مثبت و صفت تعداد میوه در بوته با بزرگ‌ترین ضریب عاملی منفی تحت تاثیر قرار گرفته است. بنابراین هرگونه افزایش در مولفه اول می‌تواند باعث افزایش در عملکرد کل شود. مولفه دوم بیش‌تر تحت تاثیر متغیرهای تعداد روزها تا گلدهی، تعداد روزها از جوانه‌زنی تا اولین رنگ‌گیری میوه و ارتفاع بوته با بار عاملی منفی بود (جدول ۶). به‌طور کلی صفات شناسایی شده در دو مولفه اصلی اول با واریانس تجمعی ۷۵ درصد حاکی از تاثیر قابل توجه آن صفات بر فنوتیپ ارقام است و این صفات می‌توانند به‌طور موثر برای انتخاب در میان لاین‌های مورد مطالعه استفاده شوند. نتایج مشابهی توسط رای و همکاران (Rai *et al*., 2017) و کومار و همکاران (Kumar *et al*., 2017) گزارش شده است. همچنین پرادان و همکاران (Pradhan *et al*., 2011) تجزیه به مولفه‌های اصلی را برای دوازده صفت انجام دادند که فقط دو مولفه اول در تجزیه PCA دارای مقادیر ویژه بالاتر از ۱/۰ بودند و واریانس تجمعی ۸۴/۱۰ درصد را نشان می‌دادند که همسو با نتایج پژوهش حاضر است. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، صفات تعداد میوه در بوته، وزن میوه، عملکرد میوه، طول و عرض میوه، تعداد روز تا گلدهی، زودرسی و ارتفاع بوته برای بهبود صفات مورفولوژیکی و کیفی میوه در گوجه‌فرنگی مهم هستند. بنابراین این صفات می‌توانند برای انتخاب والدین در برنامه‌های هیبریداسیون (دورگ‌گیری) به‌منظور گسترش پایه ژنتیکی در جمعیت و همچنین ایجاد لاین‌های الیت یا هیبریدهای F_1 مورد استفاده قرار گیرند.

تجزیه خوشه‌ای

تحقیقات نشان داده است در برنامه‌های تولید هیبرید جهت دستیابی به هتروزیس برتر، معمولاً والدینی که از نظر ژنتیکی دور از هم می‌باشند را انتخاب می‌کنند (Mahmoud and El-Eslamboly, 2014; Saljooghianpour *et al*., 2021). یکی از روش‌هایی که در این زمینه کمک شایانی می‌کند استفاده از تجزیه خوشه‌ای می‌باشد که این قابلیت را دارد تا ژنوتیپ‌ها را بر اساس صفات مورفولوژیکی نیز طبقه‌بندی نماید (Hussain *et al*., 2018). از این طریق به‌راحتی می‌توان ژنوتیپ‌هایی را که در خوشه‌های دور از هم قرار گرفته‌اند را گزینش کرده و از آن‌ها به‌عنوان والدین تلاقی در برنامه‌های به‌نژادی استفاده نمود تا تنوع ژنتیکی بیش‌تری را در جمعیت جدید ایجاد کنیم. در مطالعه حاضر تجزیه خوشه‌ای بر روی ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی، نه گروه فنوتیپی را نشان داد.

جدول ۵- تعداد مولفه‌ها، شاخص انتخاب، واریانس کل (Eigen value)، سهم واریانس هر مولفه و واریانس تجمعی

Table 5- Number of components, selection criteria, total variance (Eigen value), proportion of variance for each component and cumulative variance

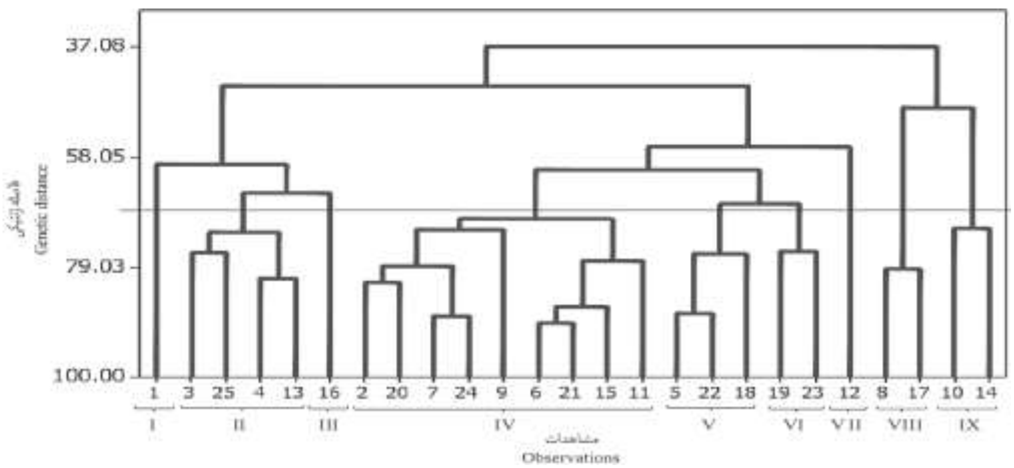
مولفه Component (PC)	شاخص انتخاب Selection criteria	واریانس کل Eigen value	سهم واریانس هر مولفه Proportion of variance for each component	واریانس تجمعی Cumulative variance
PC1	0.255	3.832	0.479	0.479
PC2	0.334	2.239	0.280	0.759
PC3	0.561	0.793	0.099	0.858
PC4	0.674	0.550	0.069	0.927
PC5	0.962	0.270	0.034	0.961
PC6	1.091	0.210	0.026	0.987
PC7	1.735	0.083	0.010	0.997
PC8	3.535	0.020	0.003	1.000

جدول ۶- مقادیر بردار ویژه برای پارامترهای انتخاب شده در PCA

Table 6- Eigen vector values for selected parameters in PCA

متغیرها Variables	مولفه اول PC1	مولفه دوم PC2
تعداد روز تا گلدهی Number of days until flowering	0.060	-0.516
تعداد روز از جوانه‌زنی تا رنگ‌گیری میوه Number of days from germination to fruit coloring	0.074	-0.606
ارتفاع بوته Plant height	0.069	-0.445
تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	-0.367	0.216
وزن میوه در بوته Fruit weight per plant	0.492	0.094
عملکرد میوه در بوته Fruit yield per plant	0.395	0.313
طول میوه Fruit length	0.472	-0.066
عرض میوه Fruit width	0.480	0.099

با توجه به شکل ۱ لاین‌هایی که در یک خوشه (گروه) قرار گرفته‌اند، از نظر فاصله ژنتیکی به یکدیگر نزدیکتر می‌باشند. به‌عنوان مثال افراد موجود در گروه IX که شامل لاین‌های ۱۰ و ۱۴ می‌باشد، از نظر عملکرد، وزن میوه، طول و عرض میوه نسبت به افراد موجود در سایر گروه‌ها برتری مطلوبی دارند (جدول ۳). از طرفی با توجه به مقادیر ضرایب همبستگی در جدول ۴، اندازه میوه با وزن میوه و عملکرد همبستگی مثبت و معنی داری را دارد که نتایج بالا را تایید می‌کند. لذا در صورت استفاده از ژنوتیپ‌های مطالعه حاضر در برنامه‌های تولید هیبرید، تلاقی لاین‌های موجود در گروه IX با هر لاین دیگری در این مطالعه افزایش عملکرد و اندازه میوه را به‌همراه خواهد داشت. لاین‌های گروه VIII با گروه III از نظر صفات تعداد روزها تا گلدهی و زودرسی کاملاً از یکدیگر دور می‌باشند و لاین‌های موجود در گروه VIII در مدت زمان کم‌تری به گلدهی و رسیدگی کامل میوه دست می‌یابند. این بدان معناست تلاقی بین لاین‌هایی که در گروه‌های دورتری قرار گرفته‌اند می‌توانند نتاجی با تنوع زیاد و حداکثر هتروزیس تولید کند. البته تلاقی لاین‌های موجود در گروه VIII با سایر لاین‌های مورد مطالعه نیز می‌تواند در تولید هیبریدهای زودرس مفید باشد. رقم ۱۲ به تنهایی در گروهی مجزا (گروه VII) قرار گرفت و به‌طور معنی‌داری دارای کوتاه‌ترین ارتفاع بوته نسبت به بقیه ارقام بود، در حالی‌که لاین‌های موجود در گروه VI بیش‌ترین ارتفاع بوته را دارا بودند و ارقام موجود در این دو گروه از لحاظ این صفت می‌توانند دارای ارزش اصلاحی باشد.



شکل ۱- دندروگرام درختی گروه‌بندی ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی بر اساس فاصله اقلیدسی، با روش UPGMA

Figure 1- Dendrogram of grouping 25 lines of tomatoes based on Euclidean distance, by UPGMA method

لاین‌های گروه IV از نظر تعداد میوه در بوته در وضعیت مطلوبی قرار دارند و دورترین فاصله ژنتیکی را با لاین‌های گروه II داشتند. لذا تلاقی لاین‌های گروه IV با لاین‌های گروه II می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی که با هدف افزایش تعداد میوه در بوته انجام می‌شود مورد استفاده قرار گیرد. همچنین لاین‌های موجود در گروه‌های I و V نیز برای تمامی صفات در وضعیت متوسطی قرار داشتند. نتایج مشابهی توسط بهاتارای و همکاران (Bhattarai et al., 2016) و اوسی و همکاران (Osei et al., 2014) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ۲۵ لاین گوجه‌فرنگی بر اساس صفات مورفولوژیکی بررسی شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنوع ژنتیکی مناسبی در میان لاین‌های مورد مطالعه وجود دارد و از این تنوع می‌توان در جهت بهبود صفات زراعی اندازه‌گیری شده سود جست. از طرفی صفات اندازه‌گیری شده در این مطالعه نیز پتانسیل خوبی را برای بررسی تنوع ژنتیکی در جمعیت مورد مطالعه داشتند. اما از آنجایی‌که برخی صفات مطالعه شده مانند عملکرد کمی هستند، به‌شدت تحت تاثیر محیط قرار گرفته و گزینش مستقیم بر اساس این صفات در جهت افزایش عملکرد توصیه نمی‌شود. در این خصوص یکی از راه‌ها برای افزایش عملکرد، از طریق بهبود اجزای آن و یا صفاتی که همبستگی مثبتی با عملکرد دارند می‌باشد که در پژوهش حاضر صفات وزن میوه در بوته، طول و عرض میوه همبستگی مثبت با عملکرد میوه در بوته داشتند و از طریق این صفات می‌توان گزینش غیرمستقیم را برای عملکرد انجام داد. همچنین طبق نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی، دو مولفه اول ۷۵ درصد از تنوع فنوتیپی کل را در بین داده‌ها توجیه کردند و صفات شناسایی شده در این دو مولفه نشان از تاثیر قابل توجه آن‌ها بر فنوتیپ ارقام است. نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز حاکی از گروه‌بندی مناسب افراد بر اساس صفات مورد مطالعه بود و لاین‌های گروه‌های I، II و III بیش‌ترین فاصله را با لاین‌های سایر گروه‌ها داشتند. از این گروه‌بندی می‌توان در جهت گزینش افراد برای انجام تلاقی‌ها استفاده کرد. اما در نهایت با توجه به هدف اصلی این پژوهش یعنی ارزیابی عملکرد و صفات وابسته به آن و طبق تجزیه‌های صورت گرفته در مطالعه، لاین‌های ۸، ۱۱ و ۱۷ به‌دلیل دارا بودن کم‌ترین تعداد روز تا گلدهی و زودرس بودن، لاین‌های ۱۰ و ۱۴ به‌دلیل داشتن بیش‌ترین عملکرد، بیش‌ترین وزن میوه و بیش‌ترین طول و عرض میوه و لاین‌های ۲، ۹، ۱۵، ۲۱ و ۲۴ نیز به‌علت دارا بودن بیش‌ترین تعداد میوه در بوته و ارتفاع مطلوب، جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی گوجه‌فرنگی توصیه می‌گردند. همچنین پتانسیل بالای ارقام گوجه‌فرنگی به‌منظور استفاده در پروژه‌های اصلاحی، ضرورت گسترش مطالعات مربوط به بررسی تنوع ژنتیکی را دوچندان می‌کند.

منابع

1. Abebe Z., Tola Y.B., and Mohammed A. 2017. Effects of edible coating materials and stages of maturity at harvest on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) fruits. African Journal of Agricultural Research 12(8): 550-565. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11648.
2. Abedini S., MohammadiNejad G., and Nakhoda B. 2016. Evaluation of agronomics traits and yield potential diversity inbreed wheat inbred lines *Triticum aestivum* L. derived from Roshan×Falat cultivar. Journal of Crop Breeding 8(20): 1-10 (In Persian with English abstract)
3. Agong S.G., Schittenhelm S., and Friedt W. 2001. Genotypic variation of Kenyan tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) germplasm. The Journal of Food Technology in Africa 6(1): 13-17. https://doi.org/10.4314/jfta.v6i1.19277.
4. Ahmadizadeh M., and Felenji H. 2011. Evaluation diversity among potato cultivars using agro-morphological and yield components in fall cultivation of Jiroft area. American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 11(5): 655-662.
5. Al-Aysh F., Kutma H., Al-Zouabi A., Muhammad S.H., and Ibn-Ishak M.B. 2012. Genetic variation, heritability and interrelationships of some important characteristics in Syrian tomato landraces (*Solanum lycopersicum* L.). Acad. Arena 4(10): 1-5.
6. Alves F.R.R., Lira B.S., Pikart F.C., Monteiro S.S., Furlan C.M., Purgatto E., Pascoal G.B., Cristina-da-Silva-Andrade S., Demarco D., Rossi M., and Freschi L. 2020. Beyond the limits of photoperception: constitutively active PHYTOCHROME B2 overexpression as a means of improving fruit nutritional quality in tomato. Plant Biotechnology Journal 18(2020): 2027–2041. https://doi.org/10.1111/pbi.13362.
7. Amini Z., Hosseini S.M., Ali-Mohammadi M., Sisakhti A., and Eskandari A. 2013. Adaptability of tomato cultivars with short growing period and determination of suitable planting date in northern cold region of Fars province. Journal of Plant Ecophysiology 5(13): 27-38. (In Persian with English abstract)

8. Athinodorou F., Foukas P., Tsaniklidis G., Kotsiras A., Chrysargyris A., Delis C., Kyratzis A.C., Tzortzakis N., and Nikoloudakis, N. 2021. Morphological diversity, genetic characterization, and phytochemical assessment of the Cypriot Tomato germplasm. Plants 10(8): 1-24. https://doi.org/10.3390/plants10081698.
9. Berry S.Z., and Uddin M.R. 1988. Effect of high temperature on fruit set in tomato cultivars and selected germplasm. Hortscience 23(3): 606-608.
10. Bhattarai K., Louws K.J., Williamson J.D., and Panthee D.R. 2016. Diversity analysis of tomato genotypes based on morphological traits with commercial breeding significance for fresh market production in eastern USA. Australian Journal of Crop Science 10(8): 1098-1103. https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.08.p7391.
11. Cox M.S., Gerard P.D., Wardlaw M.C., and Abshire M.J. 2003. Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. Soil Science Society of America Journal 67(4): 1296-1302. https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1296.
12. Engels J.M.M., Arora R.K., and Guarino L. 1995. An Introduction to Plant Germplasm Exploration and Collecting Planning Methods and Procedures, Follow-Up. p. 31-63. In: Guarino L., Ramanatha Rao V., Reid R. (eds) Collecting Plant Genetic Diversity: Technical Guidelines. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
13. Feyissa G.F., and Bessie S. 2019. Major types of risk sources perceived by tomato producing smallholder farmers the case of Dugda district, east Shewa zone, Oromia, Ethiopia. Journal of Economics and Sustainable Development 10(13): 9-17. https://doi.org/10.7176/JESD.
14. Foolad M.R. 2007. Genome mapping and molecular breeding of tomato. International journal of plant genomics 2007: 1– 52. https://doi.org/10.1155/2007/64358.
15. Ghorbanpour A., Salimi A., Tajick-Ghanbary M.A., Pirdashti H., and Dehestani A. 2018. Relationship between fruit yield and its components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars using multivariate statistical methods. Journal of Crop Breeding 9(24): 22-29. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.29252/jcb.9.24.22.
16. Hannan M.M., Ahmed M.B., Roy U.K., Razvy M.A., Haydar A., Rahman M.A., Islam M.A., and Islam R. 2007. Heterosis, combining ability and genetics for Brix%, days to first fruit ripening and yield in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Middle-East Journal of Scientific Research 2(3): 128-131.
17. Hassan Z., Ul-Allah S., Khan A.A., Shahzad U., Khurshid M., Bakhsh A., Amin H., Jahan M.S., Rehim A., and Manzoor Z. 2021. Phenotypic characterization of exotic tomato germplasm: An excellent breeding resource. PLoS One 16(6): 1-12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253557.
18. Henareh M., Dursun A., and Abdoullahi-Mandoulakani B. 2015. Genetic diversity in tomato landraces collected from turkey and Iran revealed by morphological characters. Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus 14(2): 87-96.
19. Henareh M., Dursun A., and Abdollahi-Mandoulakani B. 2015. The Correlation between traits and path analysis of yield in tomato. Journal of Applied Crop Breeding 3(2): 163-175. (In Persian)
20. Hussain I., Aslam-Khan S., Ali A., Farid A., Ali N., Ali S., Masaud S., Hussain I., Azeem K., and Raza H. 2018. Genetic diversity among tomato accessions based on agro-morphological traits. Sains Malaysiana 47(11): 2637-2645. https://doi.org/10.17576/jsm-2018-4711-06.
21. Jiang P., and Telen K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn-soybean cropping system. Agronomy Journal 96(1): 252-258. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0252.
22. Jolliffe I.T. 1986. Principal Components in Regression Analysis. p. 129-155. In: Jolliffe I.T. (eds) Principal Component Analysis. Springer Series in Statistics. Springer, New York, NY.
23. Kaemmer D., Weising K., Beyermann B., Borner T., Epplen J.T., and Kahl G. 1995. Oliganucleotide fingerprinting of tomato DNA. Plant Breeding 114(1): 12-17. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1995.tb00751.x.
24. Khadivi-Khub A., Zamani Z., and Bouzari N. 2008. Evaluation of genetic diversity in some Iranian and foreign sweet cherry cultivars by using RAPD molecular markers and morphological traits. Horticulture Environment and Biotechnology 49(3): 188-196.
25. Khazaei H., and Zare-Feyzabadi A. 2013. Assessment of fruit yield and quality of tomato varieties in one and several times hand-harvesting. Seed and Plant Production 2(29): 235-249. (In Persian)
26. Kia-Mohammadi F., Abdousi V., Moradi P., Shafiei M.R., and Arab S. 2012. Evaluation of genetic diversity among some of Iranian chrysanthemum cultivar using morphological characteristics. Agronomy and Plant Breeding 8(4): 43-54. (In Persian)
27. Kumar N., Bhardwaj M.L., Sharma A., and Kumar N. 2017. Assessment of genetic divergence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) through clustering and principal component analysis under Mid Hills conditions of Himachal Pradesh, India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6(5): 1811-1819. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.197.
28. Mahmoud A.M.A., and El-Eslamboly A.A.S.A. 2014. Genetic analysis to find suitable parents for development of cherry tomato hybrids under greenhouse conditions. Egyptian Journal of Plant Breeding 19(1): 55-70.
29. Mata-Nicolás E., Montero-Pau J., Gimeno-Paez E., Garcia-Carpintero V., Ziarsolo P., Menda N., Mueller L.A., Blanca J., Cañizares J., Van der Knaap E., and Díez M.J. 2020. Exploiting the diversity of Tomato: the

development of a phenotypically and genetically detailed germplasm collection. Horticulture Research 66(7): 1-14. https://doi.org/10.1038/s41438-020-0291-7.
30. Mirshamsi-Kakhki A., Farsi M., Shahriari Ahmadi F., and Nemati H. 2008. Use of random amplified polymorphic DNA markers to estimate heterosis and combining ability in tomato hybrids. Pakistan Journal of Biological Sciences 11(4): 499-507. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.499.507.
31. Moghaddam M., Mohammadi A., and Aghaei-Sarbarzeh M. 1994. Introduction to Multivariate Statistical Methods. Science Vanguard Publishers, Tabriz, Iran. (In Persian)
32. Mohsenifard E., Farsi M., Nemati H., and Malekzade K. 2011. An SSR-based assessment of genetic diversity in 16 Tomato (*Lycopersicon esculentum*) lines and it's correlation with heterosis. Iranian Journal of Horticultural Science 42(2): 185-192. (In Persian)
33. Nikoumanesh K., Ebadi A., Zeinalabedini M., and Gogorcena Y. 2011. Morphological and molecular variability in some Iranian almond genotypes and related *Prunus* species and their potentials for rootstock breeding. Scientia horticulturae 129(1): 108-118. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.017.
34. Osei M.K., Bonsu K.O., Agyeman A., and Choi H.S. 2014. Genetic diversity of tomato germplasm in Ghana using morphological characters. International Journal of Plant & Soil Science 3(3): 220-231. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2014/6466.
35. Ovalles F.A., and Collins M.E. 1988. Variability of northwest Florida soils by principle component analysis. Soil Science Society of America Journal 52(5): 1430-1435. https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200050042x.
36. Pérez-de-la-Vega M. 1993. Biochemical Characterization of Populations. p. 184-200. In: Hayward M.D., Bosemark N.O., and Romagosa I. (eds.) Plant Breeding: Principles and Prospects. Chapman and Hall, London.
37. Ponce R.G., Zancada C., Verdugo M., and Salas L. 1996. Plant height as a factor in competition between black nightshade and two horticultural crops (tomato and pepper). Journal of Horticultural Science 71(3): 453-460. https://doi.org/10.1080/14620316.1996.11515426.
38. Pradhan A.M., Nanadeshwar B.C., Sarkar K.K., and Konar A. 2011. Estimation of genetic parameters and association of traits related to yield in potato (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Crop and Weed 7(2): 229-231.
39. Rai A.K., Vikram A., and Pal S. 2017. Genetic characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm for yield and quality traits through principal component analysis. Research Journal of Agricultural Sciences 8(5): 1171-1174.
40. Reddy B.R., Reddy M.P., Reddy D.S., and Begum H. 2013. Correlation and path analysis studies for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Agriculture and Veterinary Science 4(4): 56-59. https://doi.org/10.9790/2380-0445659.
41. Rezaei A.M., and Mirmohammadi-Meybodi S.A.M. 2014. Statistics and Probability (Application in Agriculture). Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Persian)
42. Rick C.M., and Holle M. 1990. Andean *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiformie*. genetic variation and its evolutionary significance. Economic Botany 44(3): 69-78.
43. Salim M.M.R., Rashid M.H., Hossain M.M., and Zakaria M. 2020. Morphological characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 19(3): 233–240. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.11.001.
44. Saljooghianpour M., Rasouli M. 2021. Investigation of morphological –agronomic diversity in some of Tomato cultivars in Khash region. Sustainable Agricultural Research 1(1): 16-26. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.30495/SARJ.2021.683252.
45. Sekhar L., Prakash B.G., Salimath P.M., Hiremath P., Sridevi O., and Patil A.A. 2010. Implications of heterosis and combining ability among productive single cross hybrids in tomato. Electronic Journal of Plant Breeding 1(4): 706-711.
46. Solieman T.H.I., El-Gabry M.A.H., and Abido A.I. 2013. Heterosis, potence ratio and correlation of some important characters in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Scientia Horticulturae 150(2013): 25-30. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.024.
47. Tembe K.O., Chemining'wa G., Ambuko J., and Owino W. 2018. Evaluation of African tomato landraces (*Solanum lycopersicum*) based on morphological and horticultural traits. Agriculture and Natural Resources 52(6): 536-542. https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.11.014.
48. Terzopoulos P.J., and Bebeli P.J. 2008. DNA and morphological diversity of selected Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. Scientia Horticulturae 116(4): 354-361. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.02.010.
49. Weising K., Atkinson R.G., and Gardner R.C. 1995. Genomic fingerprinting by microsatellite-primed PCR: A critical evaluation. Genome Research 4: 249-25.
50. Zhou R., Wu Z., Cao X., and Jiang F.L. 2015. Genetic diversity of cultivated and wild tomatoes revealed by morphological traits and SSR markers. Genetics and Molecular Research 14(4): 13868-13879. http://dx.doi.org/10.4238/2015.October.29.7.